臺灣水田土壤之養分滲濾損失研究

(第一報) 硫酸銨與尿素對水稻之效應及其在水田土壤中之滲濾損失情況

徐水泉　林明華　邱再發　李蘭帝　黃文良[1]

一、前　　言

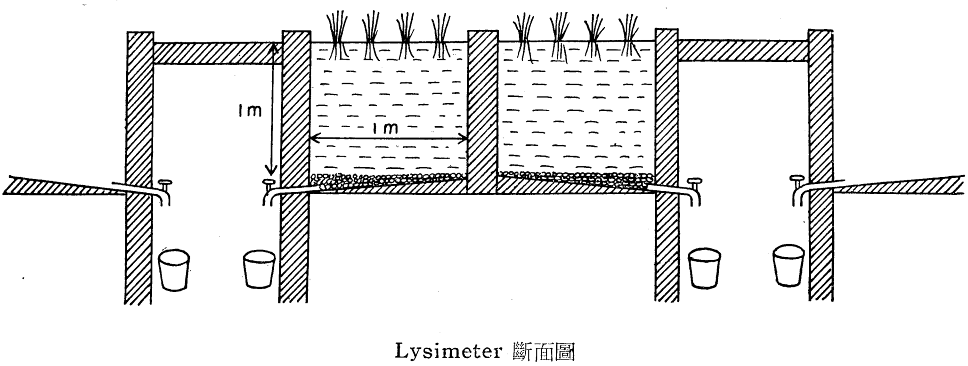
肥料之增產效果乃依土壤中之要素供給狀態以及水稻之養分需求程度而異，由於各種水田土壤之理化性質互異，其對各要素之保持能力與滲濾損失亦異；而水稻之養分吸收亦因水田土壤之不同而有差異。過去有關氮素肥料之田間試驗甚多，然一般均注重在施用量或不同之施肥法與產量之直接關係，殊少對其在水稻體中之分佈，以及其在水田土壤中之滲濾情形加以探究。臺灣水田每公頃氮素之施用量在 100公斤左右，究竟其被水稻吸收利用多少及其在水田中滲濾情形如何，實有究明之必要；因理想的施肥方法有賴於水稻之養分吸收過程及水田養分滲濾損失情況之詳細研究後才能確立，有關此方面的研究，一般以利用土壤滲濾裝置 (Lysimeter) 最爲理想。

本省水田氮素肥料之施用，一般農民均慣用硫酸銨，但因硫酸銨爲生理的酸性肥料，且連年施用後，易使土壤漸趨於酸性；尿素則含氮成份高，爲生理的中性肥料，施用後不致使土壤變爲酸性，在水田中尤爲適宜，似可替代硫酸銨施用於水田，然以往許多試驗結果，尿素對稻谷生產效應不如硫酸銨，根據前人報告 (3,7)，此是否由於尿素之氮素滲濾量較硫酸銨爲大之故，因此本試驗之目的，乃爲明瞭硫酸銨與尿素在本省水田土壤中對水稻之效應及其滲濾損失情形，而以本省四種主要類型之水田土壤，利用土壤滲濾裝置 (Lysimeter) 進行比較試驗，以期能供今後有關氮肥施用之參考。

二、試　驗　方　法

1. 肥料試驗設計：

利用四種不同水田土壤，三種肥料處理，二重複共24小區，每小區面積爲 $1m^2$，即土壤滲濾水裝置 (Lysimeter) 每槽容積爲 $1m^3$，其構造如下圖：



Lysimeter 斷面圖

The schematic diagram of Lysimeter

(1). 臺灣省農業試驗所所長、技佐、技正、技士、技士。

供試四種不同水田土壤之性質如表一。三種肥料處理爲 1)、無氮區。 2)、硫酸銨區。 3)、尿素區。三要素肥料施用量爲N 120kg/ha, P_2O_5 60kg/ha, K_2O 60kg/ha，每一處理小區皆以硫酸銨或尿素及過磷酸鈣、硫酸鉀施用之。氮肥以一半做基肥，另一半做追肥施用，磷及鉀肥則全部做基肥施用，追肥則第一期作於插秧後25天，第二期作於插秧後15天施用。每小區種植水稻16欉每欉五本，每期作皆以臺中65號品種栽培試驗之。

表一： Lysimeter 供試土壤之種類及性質

Table 1. The properties of the paddy soils tested in the lysimeter experiment

土壤性質 / 土壤種類	質地	pH	C%	N%	O.M.%	C/N
屏東土壤	Si.L	7.4	0.97	0.105	1.68	9.7
員林土壤	Si.C.L	7.5	1.53	0.105	2.63	14.5
中壢土壤	Si.C.L	5.4	0.97	0.127	1.63	5.8
臺北土壤	Si.L	5.1	1.53	0.157	2.63	9.7

2. 水稻收量及養分吸收量調查：

每一期作在水稻收割後調查谷藁收量，並分析谷藁中之三要素含有率，進而計算三要素之吸收量，再由硫酸銨區及尿素區與無氮區之水稻氮素吸收量之差計算水稻對硫酸銨及尿素之氮素吸收率。

3. 土壤滲濾水調查及要素分析：

在水稻生育期間每日調查記錄各槽之滲濾水量，每100L取1L 之樣品在室內分析滲濾水中所含之要素含量，各要素之分析方法如下：

1) NH_4-N　使用 Nessler's reagent 比色法。

2) NO_3-N　在鹼性之下，以鋅粉還元爲 NH_4 之後再用 Nessler's reagent 比色法。

3) P　使用 Molybdate blue 比色法。

4) K　使用焰光光電計。

5) Ca,Mg　使用 EDTA 滴定法。

由上述方法分析滲濾水中所含各要素之含量後，再統計分析，並由硫酸銨區及尿素區與無氮區之氮素滲濾損失量之差，計算硫酸銨及尿素在各種水田土壤中之氮素滲濾率。

4. 試驗起訖：

本試驗自民國五十年三月土壤滲濾水裝置 (Lysimeter) 建築完成後，即將24槽之該裝置依試驗設計填滿供試四種不同水田土壤，同時進行空白試驗，同年第二期作正式開始肥料處理與進行滲濾水調查及取樣，至民國五十三年第二期作止，連續四年共七期作。各期作之施肥，插秧與收穫等日期及生育日數如表二。

表二：Lysimeter 之水稻施肥日期、插秧日期、收穫日期及生育日數

Table 2. Dates of fertilizer application, transplanting and harvesting, and duration for each crop season of rice.

年度	期作	施肥日期		插秧日期	收獲日期	生育日數
		基肥	追肥			
50	II	8月2日	8月23日	8月3日	11月25日	115
51	I	3月14日	4月10日	3月15日	7月20日	128
51	II	8月12日	8月27日	8月13日	12月15日	123
52	I	3月27日	4月21日	3月28日	7月30日	125
52	II	8月16日	8月31日	8月17日	12月21日	127
53	I	3月11日	4月4日	3月12日	7月10日	121
53	II	8月1日	8月15日	8月1日	11月23日	115

三、試驗結果

本試驗所用之四種不同水田土壤，係各該水田土壤之表土，故其本身之結構與理化學性質，跟自然狀態下之該水田土壤不同，因此試驗結果可能與自然狀態之水田土壤有點差異，然仍可概略地明瞭水稻在各種水田土壤中對硫酸銨與尿素之氮素吸收及各種水田土壤之氮素滲濾損失情況。玆將四年共七期作之試驗平均結果列示如下：

1. 水稻效應：

硫酸銨與尿素對水稻株高與分蘖之效應，由表三觀之，兩者相差甚微，如以硫酸銨之效應爲100時，則尿素之相對效應分別爲100,97。對株高之效應，不同水田土壤亦然，但對分蘖之效應則除臺北土壤外，硫酸銨之效應皆優於尿素。

表三：硫酸銨與尿素在不同水田土壤中對水稻農藝性狀之效應

Table 3. Effect of ammonium sulfate and urea on plant height and tiller number of rice plant in the four different paddy soils.

期作	土壤 \ 肥料處理 \ 農藝性狀	株高 無氮區 No N	株高 硫酸銨區 Amm. Sulfate	株高 尿素區 Urea	分蘖 無氮區 No N	分蘖 硫酸銨區 Amm. Sulfate	分蘖 尿素區 Urea
第一期作	屛東土壤	83.0 (93)	89.2(100)	90.2(101)	9.3 (50)	18.7 (100)	16.5 (88)
	員林土壤	84.9 (88)	97.0(100)	95.1 (98)	10.3 (46)	22.5 (100)	21.1 (94)
	中壢土壤	93.5 (93)	100.4(100)	98.1 (98)	13.1 (67)	19.5 (100)	21.3 (105)
	臺北土壤	91.1 (101)	89.9(100)	90.4(100)	10.8 (56)	19.2 (100)	22.1 (115)
	平均	88.1 (94)	94.1(100)	93.5 (99)	10.9 (55)	20.0 (100)	20.3 (102)
第二期作	屛東土壤	91.2 (92)	99.5(100)	100.8(102)	10.5 (64)	16.5 (100)	15.7 (95)
	員林土壤	94.4 (94)	100.3(100)	100.7(100)	11.4 (60)	19.1 (100)	17.5 (92)
	中壢土壤	92.1 (91)	101.3(100)	99.5 (98)	10.0 (53)	19.0 (100)	16.6 (87)
	臺北土壤	99.6 (101)	98.9(100)	99.0(100)	11.8 (69)	17.2 (100)	17.2 (100)
	平均	94.3 (94)	100.0(100)	100.0(100)	10.9 (61)	18.2 (100)	17.3 (96)
平均	屛東土壤	87.1 (92)	94.4(100)	95.5(101)	9.9 (56)	17.6 (100)	16.1 (91)
	員林土壤	89.7 (91)	98.7(100)	97.9 (99)	10.9 (52)	20.8 (100)	19.3 (93)
	中壢土壤	92.8 (92)	100.9(100)	98.8 (98)	11.6 (60)	19.3 (100)	19.0 (98)
	臺北土壤	95.4 (101)	94.4(100)	94.7(100)	11.3 (62)	18.2 (100)	19.7 (108)
	平均	91.3 (94)	97.1(100)	96.7(100)	10.9 (57)	19.0 (100)	18.5 (97)

又硫酸銨與尿素對水稻谷藁產量之效應，由表四之結果可知硫酸銨優於尿素，以硫酸銨之產量爲100時，則尿素之相對產量分別爲96,94。第一期作之產量效應恒較第二期作爲高。若就不同水田土壤而言，對谷產量之效應在屛東與臺北土壤尿素優於或等於硫酸銨，但在員林與中壢土壤則尿素較硫酸銨爲差，以中壢尤甚。對藁產量效應則無論何種水田土壤，尿素之效應均較硫酸銨爲差。

表四：硫酸銨與尿素在不同水田土壤中對水稻之產量效應

Tabel 4. Yield response of paddy rice to ammonium sulfate and urea in the four different paddy soils.

期作	土壤 \ 處理 \ 部位	稻谷			稻藁		
		無氮區	硫酸銨區	尿素區	無氮區	硫酸銨區	尿素區
第一期期	屛東土壤	206 (57)	360 (100)	364 (101)	350 (57)	610 (100)	594 (92)
	員林土壤	275 (55)	502 (100)	484 (97)	378 (53)	717 (100)	661 (92)
	中壢土壤	303 (69)	440 (100)	402 (91)	460 (59)	777 (100)	699 (90)
	臺北土壤	245 (62)	398 (100)	412 (104)	407 (72)	563 (100)	553 (98)
	平均	257 (60)	425 (100)	416 (98)	399 (60)	667 (100)	627 (93)
第二期作	屛東土壤	158 (78)	203 (100)	216 (106)	379 (61)	623 (100)	591 (95)
	員林土壤	212 (77)	276 (100)	252 (90)	396 (56)	707 (100)	648 (92)
	中壢土壤	161 (58)	279 (100)	232 (83)	449 (62)	730 (100)	676 (93)
	臺北土壤	209 (86)	243 (100)	226 (93)	440 (64)	690 (100)	648 (94)
	平均	185 (74)	250 (100)	231 (92)	416 (60)	687 (100)	641 (93)
平均	屛東土壤	182 (65)	281 (100)	290 (103)	364 (59)	616 (100)	593 (94)
	員林土壤	244 (63)	389 (100)	368 (94)	387 (54)	712 (100)	655 (92)
	中壢土壤	232 (64)	359 (100)	317 (88)	454 (60)	753 (100)	688 (91)
	臺北土壤	227 (71)	320 (100)	319 (100)	423 (68)	626 (100)	601 (96)
	平均	221 (66)	337 (100)	323 (96)	407 (60)	677 (100)	634 (94)

2. 水稻之氮素吸收量與施肥量間之關係：

本試驗在每期作收穫風乾後，除秤量谷藁之風乾重外，並於每一處理區就谷藁分別取樣，於室內分析其所含三要素之含量，並就水稻對硫酸銨及尿素之氮素吸收量與無氮區之氮素吸收量之差分別計算水稻對硫酸銨及尿素之氮素吸收率，其結果如表五所示：

表五：水稻在不同水田土壤中對硫酸銨與尿素之氮素吸收率(%)

Table 5. Nitrogen absorption rate of rice plants for ammonium sulfate and urea in the four differient paddy soils.

土壤	期作	處理	谷			藁			施肥量	合計	
			三要素區	無氮區	三要素區與無氮區之差	三要素區	無氮區	三要素區與無氮區之差		三要素區與無氮區之差	吸收率
屛東土壤	I	a	4.766	2.770	1.996	4.866	3.176	1.690	12.00	3.686	30.71
		b	4.923		2.153	4.804		1.628		3.781	31.51
	II	a	3.053	2.458	0.595	6.947	3.997	2.950	12.00	3.545	29.54
		b	3.220		0.672	6.281		2.284		3.046	25.34
	平均	a	3.909	2.614	1.295	5.906	3.586	2.320	12.00	3.615	30.12
		b	4.071		1.457	5.542		1.956		3.413	28.44
員林土壤	I	a	6.554	3.441	3.113	5.366	2.842	2.524	12.00	5.637	46.97
		b	6.420		2.979	5.117		2.275		5.254	43.78
	II	a	4.265	3.208	1.057	7.424	3.825	3.589	12.00	4.646	38.72
		b	3.858		0.650	6.687		2.852		3.502	29.18
	平均	a	5.409	3.324	2.085	6.395	3.338	3.056	12.00	5.141	42.84
		b	5.139		1.814	5.902		2.563		4.378	36.48
中壢土壤	I	a	6.681	3.901	2.780	7.965	4.491	3.474	12.00	6.254	52.12
		b	6.711		2.810	6.655		2.164		4.974	41.45
	II	a	4.726	2.719	2.007	7.846	5.265	2.581	12.00	4.588	38.23
		b	3.914		1.195	7.951		2.686		3.881	32.34
	平均	a	5.703	3.310	2.393	7.905	4.878	3.027	12.00	5.421	45.17
		b	5.312		2.002	7.303		2.425		4.427	36.89

臺北土壤	I	a	5.512	3.197	2.315	5.406	3.949	1.457	12.00	3.772	31.43
		b	5.528		2.331	5.261		1.312		3.643	30.36
	II	a	3.790	3.222	0.568	9.131	5.227	3.904	12.00	4.472	37.23
		b	3.509		0.287	8.108		2.881		3.168	26.40
	平均	a	4.651	3.209	1.441	7.268	4.588	2.680	12.00	4.122	34.34
		b	4.518		1.309	6.684		2.096		3.405	28.38
總平均		a	4.918	3.114	1.804	6.869	4.098	2.771	12.00	4.575	38.12
		b	4.760		1.646	6.358		2.260		3.906	32.55

註：a——代表硫酸銨

b——代表尿素

由表五觀之水稻對硫酸銨之氮素吸收率高於尿素，前者爲38.12%，後者爲32.55%，同時不論何種水田土壤水稻對硫酸銨之氮素吸收率均較尿素爲高，員林及中壢土壤對硫酸銨與尿素之氮素吸收率高於屏東及臺北土壤。就期作而言，水稻對硫酸銨之氮素吸收率除臺北土壤外，第一期作均大於第二期作，但對尿素之氮素吸收率則不論何種水田土壤第一期作恒較第二期作爲大。

3. 水與要素滲濾損失情況：

爲明瞭本省四種水田土壤之要素滲濾損失情形，本試驗利用 Lysimeter 每期作自基肥施用之日期起開始採集滲濾水，每達100L時取1L 之樣品進行室內分析，至水稻成熟收穫止，算爲一期作之總累計，四年共七期作之滲濾水量及要素滲濾量平均結果如表六所示。

由表六觀之，要素之滲濾損失大小爲 Ca (21.3g) >Mg (7.64g) >K (2.18g) >N (1.352g) >P (0.72g)，且第一期作各要素之滲濾量皆較第二期作爲多。水分之滲濾因土壤及期作不同而異，水分滲濾大小依次爲臺北>員林>屏東>中壢，而各種土壤均以第一期作較第二期作爲多。N、K之滲濾臺北與員林土壤較中壢及屏東爲多，卽其滲濾似與滲濾水量有平行關係。中壢土壤之滲濾水量最少，其要素之滲濾量亦最少，惟N之滲濾較屏東土壤爲大，此是否與紅壤本身之特性或結構有關尚有待進一步之研究。N之滲濾 NO_3-N 比 NH_4-N 爲多，因氮素肥料不同其對 NO_3-N 與 NH_4-N 之滲濾亦有差異，氨態氮素之滲濾硫酸銨較尿素爲多，但硝酸態氮素之滲濾則尿素反較硫酸銨爲多。P, Ca, Mg 等之滲濾則以中性之屏東及員林土壤較多。

表六 不同水田土壤滲濾水量與要素滲濾量(g/plot)

Table 6. The amount of percolation water and leaching loss of the elements in the four different paddy soils.

期作	土壤	處理	滲濾水量	NH_4-N	NO_3-N	P	K	Ca	Mg
第一期作	屏東土壤	O	313	0.043	0.290	0.064	1.24	19.20	8.14
		S	637	0.091	0.805	0.090	2.12	37.69	10.42
		U	510	0.125	0.811	0.078	1.92	31.27	9.46
	員林土壤	O	898	0.225	1.077	0.171	4.40	42.80	16.81
		S	813	0.366	1.446	0.158	4.92	30.08	15.89
		U	703	0.289	1.586	0.117	3.70	40.86	16.54
	中壢土壤	O	425	0.052	0.578	0.067	1.69	18.24	5.82
		S	265	0.160	0.858	0.034	1.93	14.74	5.01
		U	280	0.093	1.164	0.042	2.59	14.75	3.53
	臺北土壤	O	787	0.326	1.601	0.128	4.05	19.56	4.08
		S	553	0.966	2.708	0.096	2.84	19.12	4.91
		U	633	0.562	4.469	0.056	2.93	19.86	4.67
	平均		568	0.275	1.449	0.092	2.86	25.51	8.77

第二期作	屏東土壤	O	266	0.059	0.249	0.066	1.03	11.60	6.28
		S	423	0.087	0.505	0.079	1.55	25.59	7.50
		U	386	0.092	0.366	0.084	0.86	19.11	7.11
	員林土壤	O	246	0.093	0.502	0.073	1.35	15.41	12.59
		S	240	0.179	0.516	0.064	2.14	13.50	12.57
		U	228	0.196	0.572	0.044	1.22	42.04	11.46
	中壢土壤	O	180	0.066	0.322	0.021	0.82	9.67	3.54
		S	257	0.077	1.233	0.032	2.96	13.49	2.59
		U	150	0.088	0.484	0.025	0.85	8.46	3.41
	臺北土壤	O	405	0.175	1.170	0.052	1.82	14.61	3.54
		S	585	0.858	2.000	0.048	1.79	17.78	4.06
		U	359	0.235	1.642	0.038	1.54	13.81	3.42
	平均		309	0.184	0.796	0.052	1.49	17.09	6.51
土壤	屏東土壤	平均	422	0.082	0.504	0.077	1.45	24.08	8.15
	員林土壤	平均	518	0.225	0.950	0.104	2.95	32.78	14.31
	中壢土壤	平均	259	0.089	0.773	0.037	1.81	13.22	3.98
	臺北土壤	平均	554	0.520	2.265	0.010	2.49	17.12	4.11
肥料處理		O	440	0.130	0.724	0.080	2.05	18.89	7.60
		S	472	0.348	1.259	0.075	2.53	21.50	7.87
		U	404	0.210	1.387	0.060	1.95	23.52	7.45
總平均			438	0.229	1.123	0.072	2.18	21.30	7.64

註：O——代表無氮區　　S——代表硫酸銨區　　U——代表尿素區

本省之水稻產量，第一期作恒較第二期作爲高，其原因除與氣候及水稻生理有關外對養分之吸收及滲濾當不無關係，爲明瞭水田土壤之養分滲濾情況，乃就水分滲濾量及各要素滲濾量加以變方分析，結果如表七所示：

表七　滲濾量及各要素損失量之變方分析結果

Table 7. The result of statistical analysis for the amount of percolation water and leaching loss of each element.

變異原因	自由度	滲濾水	NH_4-N	NO_3-N	P	K	Ca	Mg	理論F值 5%	理論F值 1%
期作	1	45.11**	18.37**	14.93**	71.82**	37.18**	13.80**	65.82**	5.99	13.74
土壤	3	11.60**	92.85**	21.49**	35.44**	9.07*	11.68**	321.66**	4.76	9.78
肥料	2	1.04	35.95**	5.71*	6.51*	2.56	1.40	キ	5.14	10.92
期作×土壤	3	7.59**	4.52	2.49	16.09**	5.44*	1.18	6.54*		
期作×肥料	2	1.11	キ	3.12	3.10	1.38	キ	キ		
肥料×土壤	6	1.37	18.96**	1.61	3.29	1.19	3.19	1.75	4.28	8.47
機差	6									
合計	23									

註：「キ」符號者表示機差均方大於處理均方

由表七知水分與各要素之滲濾損失，因期作與不同水田土壤之影響差異極顯著，由此可知土壤不同或期作不同對各要素之滲濾損失有極大之差異。N之滲濾，硝酸態氮較氨態氮爲多，兩者在不同肥料處理下之差異顯著，且氨態氮之差異顯著與否因土壤而異。P之滲濾在各要素中爲最少，但在不同肥料處理下之差異顯著且不同土壤間之差異顯著與否因期作而異。又水分與K、Mg 等之滲濾在不同土壤間之差異顯著與否亦因期作而異。

4. N之滲濾損失與施肥量間之關係。

硫酸銨與尿素施用於水田土壤後其氮素除被水稻吸收外，或殘留於土壤中或揮散或隨灌溉水滲

濾損失。筆者等爲明瞭水田施用硫酸銨與尿素後，對氮素之滲濾損失差異，以及氮素之滲濾與施肥量間之關係，乃由硫酸銨區及尿素區之氮素滲濾量與無氮區之氮素滲濾量之差，分別計算硫酸銨與尿素在不同水田土壤中之氮素滲濾率，所得結果如表八所列：

由表八觀之，硫酸銨之氮素滲濾率較尿素爲大，但兩者相差甚微，前者爲 6.21%後者爲 6.04%。硫酸銨之氮素滲濾率除中壢土壤外，第一期作均較第二期作爲高，但尿素之氮素滲濾率則不論何種土壤，第一期作恒較第二期作爲高。不同水田土壤間因其土壤本身之理化學性質互異，故其對氮素之滲濾損失差異很大。一般言之，硫酸銨與尿素之氮素滲濾率在酸性之臺北及中壢土壤較中性之屛東及員林土壤爲高，各種水田土壤之氮素滲濾率硫酸銨依次爲臺北 (13.59%)>中壢 (5.37%)>屛東 (3.53%)>員林 (2.25%)，而尿素則亦依次爲臺北 (15.15%)>中壢 (3.37%)>屛東(3.13%)>員林 (2.52%) 。綜觀之，氮素之滲濾損失酸性土壤大於中性土壤，其在四種不同水田土壤中以臺北土壤滲濾損失最多，中壢土壤次之，屛東土壤再次之，員林土壤最少。

表八：硫酸銨與尿素在不同水田土壤中之氮素滲濾率

Table 8. Leaching rate of nitrogen in the four different paddy soils as affected by the application of ammonium sulfate and urea.

土壤	期作	處理	NH_4-N 三要素區	NH_4-N 無氮區	NH_4-N 三要素區與無氮區之差	NO_3-N 三要素區	NO_3-N 無氮區	NO_3-N 三要素區與無氮區之差	施肥量 (g)	合計 三要素區與無氮區之差	滲濾率 (%)
屛東土壤	I	a	0.091	0.043	0.048	0.805	0.290	0.515	12.00	0.563	4.69
		b	0.125		0.082	0.811		0.521		0.603	5.02
	II	a	0.087	0.059	0.028	0.505	0.249	0.256	12.00	0.284	2.37
		b	0.092		0.033	0.366		0.117		0.150	1.25
	平均	a	0.089	0.051	0.038	0.655	0.269	0.386	12.00	0.424	3.53
		b	0.108		0.057	0.588		0.319		0.376	3.13
員林土壤	I	a	0.366	0.225	0.141	1.446	1.077	0.369	12.00	0.510	4.25
		b	0.289		0.064	1.586		0.509		0.573	4.77
	II	a	0.179	0.093	0.086	0.516	0.502	0.014	12.00	0.100	0.83
		b	0.196		0.103	0.572		0.070		0.173	1.44
	平均	a	0.272	0.159	0.113	0.981	0.824	0.157	12.00	0.270	2.25
		b	0.242		0.083	1.044		0.219		0.302	2.52
中壢土壤	I	a	0.160	0.052	0.108	0.858	0.578	0.280	12.00	0.388	3.23
		b	0.093		0.041	1.164		0.580		0.627	5.22
	II	a	0.077	0.066	0.011	1.233	0.322	0.911	12.00	0.922	7.68
		b	0.088		0.022	0.484		0.162		0.184	1.53
	平均	a	0.113	0.059	0.049	1.045	0.450	0.595	12.00	0.644	5.37
		b	0.090		0.031	0.824		0.374		0.405	3.37
臺北土壤	I	a	0.966	0.326	0.640	2.708	1.601	1.107	12.00	1.747	14.56
		b	0.562		0.236	4.469		2.868		3.103	25.86
	II	a	0.858	0.175	0.683	2.000	1.170	0.830	12.00	1.513	12.61
		b	0.235		0.060	1.642		0.472		0.532	4.43
	平均	a	0.912	0.250	0.662	2.354	1.385	0.969	12.00	1.631	13.59
		b	0.398		0.148	3.055		1.670		1.818	15.15
總平均		a	0.308	0.130	0.218	1.259	0.732	0.527	12.00	0.745	6.21
		b	0.201		0.079	1.378		0.646		0.725	6.04

註 a——代表硫酸銨

b——代表尿素

四、討　　論

硫酸銨與尿素等氮素肥料對水稻之效應，根據前人 [3,7,11,12]，試驗結果對株高及分蘖之效應無甚差別，但對谷藁產量則硫酸銨優於尿素。但李氏等[2]報告尿素與硫酸銨不見有顯著差異，不過在

少數成績中仍有硫酸銨較優之趨勢。本試驗利用四種不同水田土壤試驗結果，對株高及分蘖之效應硫酸銨與尿素相差甚微，但在臺北土壤則尿素較硫酸銨爲佳。對谷產量之效應硫酸銨優於尿素，且在中壢土壤硫酸銨顯然有較優之趨勢。對藁產量之效應則無論何種水田土壤硫酸銨概較尿素爲優。邱氏等[5]報告，高溫顯然可以增加水稻養分吸收量，但此等多吸收之養分却徒使莖葉部份增加而致使養分在穀實中之相對分佈率減低，本試驗結果第一期作谷產量較第二期作爲高，但藁產量則反之，此種差異原因除水稻生理與栽培條件外，可能受溫度等環境條件之影響，以致肥料利用有所差異而影響谷產量，即第一期作在生殖生長期適逢高溫有促進穀藁中養分之轉移，而第二期作在營養生長期爲高溫，徒使養分大部分消耗於莖葉生長而導致後期穀實中養分分佈率之減低。尿素極易溶解，在土壤中形成溶液狀態，能被土壤中多種細菌所產生之 Urease 酵素分解變爲無機銨鹽，在土壤溶液中呈離子狀態而爲土壤顆粒吸附，易分解而釋出氨，其在中性土壤之分解遠較酸性土壤爲速，本試驗結果尿素在中壢土壤對谷產量效應差之原因似乎與其在酸性土壤中之緩慢分解有關。

水稻對硫酸銨之氮素吸收率，無論何種土壤均較尿素爲高，可能因本試驗常在湛水狀態下行表層施肥，故由尿素分解出來之氨可能揮散較多以致影響其吸收率所致，李氏等[1]亦報告尿素施於土壤後在三至五日之內大部分可分解，並且氨之揮散量顯然較硫酸銨爲多。氮素之移動與土壤質地及構造有極密切關係，據 Bates 等氏[15] 之報告指示硝酸氮素之移動，爲加入於土壤之水分量與土壤空隙之函數，本試驗結果在員林及中壢坋質粘壤土中，無論硫酸銨或尿素之氮素吸收率均較屏東及臺北土壤爲高，則似與土壤之質地有關，而影響硝酸態之移動，故被植物吸收利用較多，惟確實原因如何尚有待進一步之研究。尿素在土壤中需經過一段時間分解才能被水稻吸收利用，故其肥效較硫酸銨爲緩，在本試驗之水稻生育期間於施肥後一週左右觀察水稻之生育狀況，硫酸銨區即顯出較正常葉色爲濃之葉色而尿素區則常在施肥後二週左右，才顯出濃綠葉色，但隨時間之增加則不論硫酸銨區或尿素區均逐漸趨於正常之綠色。

土壤中之要素滲濾依滲濾水量之大小而異， Reyes 氏[20]報告滲濾水量愈多，要素之滲濾量亦愈多，據其試驗結果，土壤中要素滲濾之大小次序爲 Mg>Ca>Na>Fe>Cl>K>S>Mn>N>Al>P，本試驗結果亦顯示同樣之趨向，即Ca>Mg>K>NO_3-N>NH_4-N>P，且在中性之員林與屏東土壤之Ca, Mg 滲濾損失較酸性土壤之中壢及臺北爲多。一般言之，以Ca 之滲濾最多，而以磷爲最少，此與 Remelon 等氏[21]及劉氏等[9] 之試驗結果亦相吻合。

土壤氮素之滲濾損失因土壤性質與結構而不同，氨態氮與硝酸態氮之滲濾損失亦異，水田土壤中不可能以硝酸態氮存在，因此硝酸態氮在土壤中之損失除因脫氮作用而揮散外，亦可隨滲濾水而流失。Trickey 等氏[23] 與Collison 等氏[16] 以 Lysimeter 試驗結果證明氮素之滲濾損失以硝態酸爲主，同時 Collison 氏發現滲濾損失之氮素 99%係以硝酸態存在，而以銨態存在者不及1%，但據劉氏等[9]之 Lysimeter 試驗結果，水田中之氮素大部分以銨態滲濾爲多，而以硝酸態者爲少。然由本試驗結果表示滲濾水中之硝酸態氮比銨態氮爲多，而在不同土壤及肥料處理下，亦有類似之趨向。硝酸態之所以滲失，據 Kilmer 等氏[19] 與 Russell 等氏[22] 之報告表示，乃是由於其在土壤溶液中不受任何拘束，亦不能形成不溶性化合物，因此凡可促進土壤滲濾之因子皆可增加硝酸態氮之損失。本試驗結果顯示硝酸態氮素之滲濾損失第一期作較第二期作爲高，其原因可能受其地上部之生長茂盛與否及產量之多寡之影響。 Alexender[13] 及 Stevenson 等氏[2,5] 亦報告地上之植物茂盛時土壤中硝酸態濃度與滲濾之水量較低，硝酸態氮素之滲失當較少。

尿素在土壤中易溶解成溶液狀態，因其電離度極小而不易被土壤顆粒吸附，但能被土壤中之有機質吸收，據 Shingo Mitsui 等氏[23,24] 報告土壤中有機質含量愈高吸收 Urea-N 愈多，其被有機質吸附之原因乃由於形成一種 "hydrogen bonding" 所致。因此尿素肥料之施用，以全層或深部施肥爲最理想，然由本試驗之結果表示尿素滲濾率較硫酸銨爲少，但兩者相差甚微，其滲濾率尿素爲 6.04%，硫酸銨爲 6.21%，故尿素除在缺有機質且滲透性良好之土壤外，其滲濾率並不比硫

酸銨爲大。

由本試驗結果表示水稻對氮肥之吸收率，硫酸銨爲 38.12%尿素爲 32.55%，且兩種氮肥在水田土壤中之滲濾率，硫酸銨爲 6.12%、尿素爲 6.04%，由此觀之，氮肥在水田土壤中實際被水稻吸收利用及隨滲濾水而流失者僅佔全氮素量之四到五成，剩餘之五到六成氮素是否遺留在土壤中，或揮散損失實屬重要而値得研究之問題。因水田土壤中氧化層與還元層共存，故無論施用銨態或硝酸態氮肥均可發生脫氮作用，據顏氏[10] 報告，水田土壤中氮素之損失主要爲脫氮作用，而在湛水狀態下，亦有硝化作用之進行，使硝酸還原而脫氮。Dhar 氏[16] 亦發表硫酸銨與尿素可因硝化作用而形求硝酸銨，因此導致氮素之損失。氮素之損失除隨水滲濾損失與因脫氮作用而揮散外，Tanaka 等氏[14] 報告亦可自植物體經雨露而損失；K. Kanapathy 氏[18] 亦發現氮與鉀在水稻生長後期，可隨枯死或落於水中之爛葉而損失。

綜觀言之，尿素對稻谷生產效應較硫酸銨爲小之原因，並非由於尿素之氮素滲濾量較硫酸銨爲多之故，而除其吸收率較硫酸銨爲小外，是否因其氮素分解過程中在尚未變成水稻可吸收利用之銨鹽之前，卽因脫氮作用而揮散較多，抑或因其在施於水田土壤後，卽被土壤顆粒或有機質所固定之影響，則實有再檢討之必要。

誌謝：本試驗之進行，承本所農化系植物營養研究室同仁之協助，謹申謝忱。

五、摘　　要

利用土壤滲濾水裝置（Lysimeter）使用四種不同水田土壤擧行硫酸銨與尿素肥料之比較試驗，調查硫酸銨及尿素肥料對水稻之肥料效應及其在水田土壤中之氮素滲濾損失情況，經四年共七期作之試驗結果如下：

1. 硫酸銨與尿素對水稻株高及分蘖之效應，兩者相差甚微，對谷藁產量之效應則硫酸銨優於尿素，以硫酸銨做100時，尿素之相對產量分別爲 96,94。尿素在砂質壤土之臺北及屏東土壤對谷產量之效應優於硫酸銨，但在坋質壤土之員林及中壢土壤則較硫酸銨爲差，對藁產量之效應，則無論何種土壤尿素之效應均較硫酸銨爲差。
2. 水稻對硫酸銨之氮素吸收率高於尿素，前者爲 38.12%，後者爲 32.55%，且不論何種土壤水稻對硫酸銨之氮素吸收率均較尿素爲高。
3. 水分及各要素之滲濾因土壤與期作不同而異，水分滲濾大小依次爲臺北>員林>屏東>中壢，而要素之滲濾大小爲 Ca>Mg>K>N>P 。一般而言，滲濾水量與各要素之滲濾損失量有平行關係，滲濾水量多則要素之滲濾損失亦多。N, K 之滲濾損失臺北及員林土壤較屏東及中壢土壤爲多。 P, Ca, Mg 等之滲濾則以中性之員林及屏東土壤爲多。
4. N之滲濾損失硝酸態氮比銨態氮爲多，且因氮素肥料不同而有差異，銨態氮之滲濾損失硫酸銨較尿素爲多，但硝酸態之滲濾損失則反之。
5. 硫酸銨之氮素滲濾率較尿素爲大，但兩者相差甚微，前者爲 6.21%，後者爲 6.04%。硫酸銨之氮素滲濾率除中壢土壤外，第一期作較第二期作爲高，但尿素則不論何種土壤其滲濾率第一期作恒較第二期作爲高。一般言之，在酸性之臺北及中壢土壤之氮素滲濾率較中性之員林及屏東土壤爲高。
6. 尿素對稻谷生產效應不如硫酸銨之原因，根據本試驗結果並非因尿素之氮素滲濾較硫酸銨爲大之故。

六、參 考 文 獻

1. 李蘭帝、許新民、林金燦、林國謙　尿素肥料施肥法試驗成績（第一報）(1957)　農業研究第六卷第四期
2. 李蘭帝、林金燦、林國謙、徐水泉　尿素肥料施肥法試驗成績（第二報）(1960)　農業研究第九卷第二期

3. 林國謙、王清寅　硫酸銨、氯化銨、硝酸銨鈣與尿素對水稻之肥效比較(1956)　農業研究第六卷第三期
4. 李珏清、李惟和　尿素　臺灣肥料公司肥料推廣委員會編印
5. 徐水泉、邱再發、李蘭帝、林明華　臺灣水田土壤之養分滲濾損失研究（預報）　中國農業化學會誌第二卷第三、四期
6. 邱再發、連　深、徐水泉　臺灣水稻之養分吸收之研究（第二報）(1960)　農業研究第十卷第一期
7. 張守敬、曾憲鼎、黃國瑞　硫酸銨、氯化銨、硝酸銨、尿素對於水稻之肥效(1953)　農業研究第四卷第二期
8. 盛澄淵　肥料學　部定大學用書　正中書局
9. 劉柏齡、陳振鐸、魏金塗、廖忠信　使用滲濾水採集裝置 (Lysimeter) 測定水田土壤中施用不同肥料對於滲濾量與若干土壤性質之影響(1957)　國立臺灣大學農學院研究報告第四卷四號
10. 顏滄濤　農試所特刊(1961) No.3 p.9
11. 德岡松雄、諸岡等　水稻に對する尿素態窒素の肥效試驗(1935)　日本土壤肥料雜誌　9(1):25-30.
12. 德岡松雄　水稻に對する尿素態窒素の肥效試驗(1936)　熱農 8(1):1-11.
13. Alexender, M. Introduction to Soil Microbiology (1951) pp. 293 John Wiley and Sons Inc. New York & London.
14. A. Tanaka and S. A. Navasero. Loss of Nitrogen from the Rice Plant through Rain or Dew (1964) Soil Sci. and Plant Nutrition Vol. 10, No. 1.
15. Bates, T. E., and Tisdale, S. L. (1957) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21:525-528.
16. Collison, R. C., and Mensching, J. E. (1930) New York (Geneva) State Agr. Exp. Sta. Tech. Bull, 166.
17. Dhar, N. R. Proc. Nat. Inst. Sci. (India) 3, 75 (1935).
18. K. Kanapathy. Report of the Working Party on Fertilizers and Soil Water Relations. IRC (Ceylon) (1959).
19. Kilmer, V. J., Hays, O. E., and Muchenhirn, R. J. (1944) J. Am. Soc. Agro. 33:249-266.
20. Reyes, E. D., N. L. Galvez and N. B. Nazareno. Lysimeter Studies on a Lipa Clay loam grown to paddy rice. The Philippine Agriculturist 45(5); 244-257.
21. Remelon, A. and Bastisse, E. Results of Lysimeter Experiments (1938) Soil Sci. 46; 1.
22. Russell, E. J., and Richards, E. H. (1920) J. Agro. Sci. 0:22-43.
23. Shingo Mitsui, Hisao Namioka and Noboru Mukai. Soil absorption of Urea. I. (1960) Soil and Plant Food Vol. 6, No. 1.
24. Shingo Mitsui, and Miroshi Takatoh. Soil absorption of Urea II. (1963) Soil Sci. and Plant Nutrition Vol. 9, No. 3.
25. Stevenson, F. J. The Nitrogen Cycle in Soil Prepared as Part of an I. C. A. Short Course Entitled "Soil Testing and Fertility Practice."
26. Trickey, N. G. and Smith, G. E. (1955). Soil Sci. Soc. Am. Proc. 19:222-224.

STUDIES ON LEACHING LOSS OF PLANT NUTRIENTS IN PADDY SOILS OF TAIWAN

Part I. Comparison on the effect of ammonium sulfate and urea on paddy rice and leaching loss of plant nutrients in paddy soils of Taiwan

By

S. C. Hsu, M. F. Lin, T. F. Chiu, L. T. Lee & W. L. Huang

SUMMARY

On fertilization effect and leaching loss of plant nutrients as affected by the application of ammonium sulfate and urea, a lysimeter experiment was conducted from 1961 to 1964, using four kinds of major paddy soils of Taiwan. The results

obtained were summarized as follows:

1. Ammonium sulfate had higher yields of grain and straw than urea despite of little difference in plant height and number of tillers by the two nitrogenous fertilizers. The yield indexes of grain and straw in the urea plot averages 96 and 94 individaully when those of ammonium sulfate were taken as 100. Of varied paddy soils, both of Pingtung and Taipei silt loam had almost the same or/and rather better effect on grain yield by the supply of urea as compared with ammonium sulfate, but Chungli and Yuanlin silty clay loam gave fairly low yield of grain conversely. The yields of straw in the different soils were consistently low with urea application.

2. The greater rates of nitrogen uptake by rice plants were seen in the ammonium sulfate plot than in the urea plot, resulting in 38.12% and 32.55% respectively. The trend is always true with all kinds of tested paddy soils.

3. The amount of leachate and loss of plant nutrients by percolation apparently differs from the kinds of paddy soils and crop seasons. In general, the leaching loss of plant nutrients was in pararell with the amount of leachate. The magnitude of the element loss by leaching was as the following order; Ca>Mg>K>N>P. The loss of N and K was greater in Taipei and Yuanlin soils and that of Ca, Mg and P was distinct in the neutral soils of Yuanlin and Pingtung.

4. The amount of leachate of nitrogen in NO_3-N is more than in NH_4-N, but differs from the nitrogenous fertilizers. The leaching loss of NH_4-N was higher in the ammonium sulfate plot than in the urea plot, but that of NO_3-N was resulted in its contrary.

5. There was little difference in the leaching loss of nitrogen as affected by additional supply of urea and ammonium sulfate. The drain-out of nitrogen with percolation rated 6.21% in the ammonium sulfate plot and 6.04% in the urea plot. The rate of leaching loss was higher in the 1st crop than in the 2nd crop. Chungli and Taipei acidic soils had higher rates than neutral Yuanlin and Pingtung soils.

6. The effectiveness of urea on the grain yields is less than that in ammonium sulfate. It was found to be not due to the higher ammount of leaching loss of nitrogen in urea than in ammonium sulfate.